

INSTITUT FRANCAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE
POUR LE DEVELOPPEMENT EN COOPERATION
O R S T O M

CENTRE NATIONAL D'ETUDES SPATIALES
C N E S

ETUDE DU MILIEU NATUREL D'UNE
REGION TROPICALE HUMIDE ET
SUIVI DE SON EVOLUTION SAISONNIERE
AU MOYEN DE L'IMAGERIE SPOT
BANGUI, CENTRAFRIQUE - 1986-87

Thierry SIMON

Lorenzo VERCESI

Michel SOURDAT

Yves BOULVERT

Programme d'Evaluation Préliminaire SPOT
PEPS n° 186
Incitation à la Recherche
CNES N° 86/1267

PARIS - Novembre 1987

ETUDE DU MILIEU NATUREL D'UNE REGION TROPICALE HUMIDE ET
SUIVI DE SON EVOLUTION SAISONNIERE AU MOYEN DE
L'IMAGERIE SPOT

BANGUI-CENTRAFRIQUE - 1986-87

Th. Simon - L. Vercesi - M. Sourdat - Y. Boulvert

Résumé

L'analyse d'une série de 3 "vues" SPOT est appliquée à l'étude d'un milieu contrasté d'une région tropicale proche de Bangui et au suivi de son évolution saisonnière. Les résultats sous forme de cartes en couleurs, les difficultés et les perspectives offertes par la méthode sont commentés.

Summary

The possibilities presented by a seasonal series of SPOT images in the study of the evolution of natural resources of a tropical region are discussed. Also included are the difficulties encountered and cartographical results.

Présentation

Ce document rend compte du Programme d'Evaluation Préliminaire SPOT : BANGUI-CENTRAFRIQUE (*) et d'une Incitation à la Recherche du CNES (**) sous l'intitulé : "Evolution de la signature spectrale d'un milieu contrasté (savane-forêt-cultures-plantations, ville-campagne) du domaine tropical humide, lors d'un changement de saison. Cartographie des formations latéritiques dans la région de BANGUI".

Ce programme a été confié à Th. SIMON (Min. de la Coopération) à l'initiative de Y. BOULVERT (ORSTOM-BANGUI) et B. VOLKOFF (ORSTOM-UR 104). Les travaux de terrain ont été coordonnés par Y. BOULVERT avec la participation, entre autres personnes, de J. ALLARD (O. N. F. - R. C. A.) et l'appui d'un hélicoptère de l'Armée Française. Les traitements numériques ont été effectués par L. VERCESI (ORSTOM) dans les laboratoires de l'ORSTOM auprès d'INTEGRO. Les traitements photographiques ont été réalisés par A. AING et I. RANNOU à l'Atelier de Télédétection de l'ORSTOM-BONDY. La coordination finale a été assurée par M. SOURDAT, aidé par E. DRIFFORT pour la présentation des planches (ORSTOM-UR 104).

Un rapport intermédiaire avait été rendu en décembre 1986 (1). Une communication (2) a été présentée au Colloque SPOT 1 (23-27 NOV. 1987).

(*) Contrat PEPS n° 186 du 21.02.1986, CNES-ORSTOM.
(**) Décision d'Aide n° 86/CNES/1267 du 18.09.1986.
(1) Les numéros renvoient à la BIBLIOGRAPHIE.

1. LE MILIEU NATUREL : LA REGION DE BANGUI	3
2. IMAGERIE ET REFERENCES THEMATIQUES	4
2.1. Imagerie	
2.1.1. Choix de la zone	
2.1.2. Choix des dates	
2.1.3. Qualité des images	
2.2. Etudes de terrain et références thématiques	
3. TRAITEMENTS NUMERIQUES	8
3.1. Principes	
3.2. Procédures	
3.3. Production de cartes	
3.4. Autres possibilités de traitements ou d'expression	
4. COORDINATION	10
5. RESULTATS ET COMMENTAIRES	10
5.1. Remarques préliminaires	
5.2. Description des images	
5.3. Dynamique saisonnière	
5.4. Cartographie des sols	
5.5. Etude de la ville de BANGUI	
5.6. Etude des cultures	
6. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES	16
7. BIBLIOGRAPHIE	18
FIGURES	19
LEGENDES DES PLANCHES	22
LEGENDES DES PHOTOGRAPHIES	25
PLANCHES	
PHOTOGRAPHIES	

1. LE MILIEU NATUREL : LA REGION DE BANGUI

La région de BANGUI est une région de transition climatique, entre les climats équatoriaux et tropicaux (fig. 1, 2 et 3).

Les précipitations moyennes annuelles sont de 1537 mm à BANGUI (1618 mm à MBAIKI, 80 km au SW et 1442 mm à DAMARA, 60 km au N). Après une courte saison sèche (décembre-janvier), les précipitations augmentent par paliers de février à août puis décroissent plus rapidement de septembre à novembre. L'humidité relative reste élevée toute l'année. La température moyenne annuelle est de 26° C à BANGUI. L'amplitude de sa variation intermensuelle n'est que de 2,7° C. La dégradation spécifique (mesure de l'érosion) est de 400 T/km²/an sur terrains peu accidentés et atteint 1200 T/km²/an sur terrains accidentés. Le risque d'érosion est donc intense, en raison du volume et de la concentration des précipitations.

C'est une région de transition entre forêts, savanes et cultures sous l'effet du climat et de l'intervention des hommes. On y trouve les formations suivantes, toutes dégradées et interpénétrées :

- . forêt dense humide semi-caducifoliée guinéo-congolaise secondarisée (avec variante sur collines rocheuses) ;
- . forêt dense des zones à hydromorphie temporaire ou prolongée, forêt-galerie (photo 2) ;
- . savanes périforestières pyrotolérantes (photos 3 et 4), arbustives, arborées ou boisées (savanes-parcs), qu'il est malaisé de différencier entre elles ou de la forêt clairière, avec variantes sur collines rocheuses ;
- . savanes herbeuses rases des zones cuirassées (lakéré) ;
- . savanes herbeuses plus ou moins arbustives avec variantes des zones hydromorphes ;
- . marécages herbeux ;
- . défrichements anciens ou récents et cultures.

La flore des savanes pyrotolérantes est extrêmement pauvre en espèces mais tous les stades de composition, de densité, de hauteur ou d'espacement, d'épaisseur des strates herbeuses et arbustives sont représentées en fonction de la nature du sol ainsi que du type et de l'ancienneté des interventions.

Les paysages évoluent, depuis une quinzaine d'années, sous les effets conjugués de sécheresses aggravées, de l'immigration des nomades Mbororo, de défrichements abusifs et d'urbanisation accélérée.

Depuis une décennie, une composée adventice, *Chromolaena odorata* (ex-*Eupatorium odoratum*) ou "herbe du Laos", envahit et étouffe les pâturages (photo 5) ainsi que les cultures. Son seul intérêt est peut être de freiner localement l'érosion. Sa dispersion fait l'objet d'études. Il est possible qu'elle ait accompagné les pasteurs Mbororo venus du Tchad.

Le substrat est constitué par la série de Mbaïki (grès arkosiques, grès fins et argilites), peu métamorphisée et traversée de dolérites. Elle comporte des axes tectoniques E-W et NW-SE, un paysage de collines peu marquées, quelques échines (Ouombo). Localement, elle fait place à la série de Bobassa (grès, calcaires, dolomies et cherts), ce qui explique l'existence de nombreuses dépressions pseudokarstiques (dolines). Celles-ci constituaient naguère des mares permanentes où en 1970 subsistaient encore quelques crocodiles. Depuis 1974, la nappe phréatique s'est abaissée de plusieurs mètres. En 1987, on les a trouvées sèches.

Le réseau hydrographique est peu encaissé. Mbali, Pama et Mpo-ko divaguent en méandres dans les alluvions de leurs cours inférieurs.

Les sols sont de type ferrallitique moyennement à fortement désaturé, à faciès rouge ou ocre. Il existe des indurations et des cuirassements, notamment les lakéré (photo 6 et 7).

2. IMAGERIE ET REFERENCES THEMATIQUES

2.1. Imagerie

2.1.1. Choix de la zone

La région étudiée, couverte par la scène SPOT 098/341, se trouve en République Centrafricaine, au nord-ouest de BANGUI (fig. 1). Elle couvre un carré de 60 km de côté dont la ville de BANGUI occupe l'angle inférieur droit.

Elle a été choisie en considération des contrastes qui s'y manifestent :

- Entre forêts et savanes avec prédominance de la forêt dense humide semi-caducifoliée plus ou moins dégradée avec savanes incluses au Sud de la Pama ; des savanes périforestières guinéennes avec résidus forestiers au Nord de la Pama.
- Entre un secteur accidenté (collines de BANGUI) et un secteur aplani (piémont oubanguien).
- Entre affleurements de la série quartzitique de Bangui-Mbaïki et de la série carbonatée de Bobassa-Fatima, non délimités à ce jour.
- Entre divers effets de l'intervention humaine.

En outre son accès et relativement aisé et diverses études thématiques, antérieurement réalisées sur ce secteur, offraient des possibilités de comparaisons, de références, ou de vérifications.

Quatre zones avaient été primitivement retenues en tant que sièges de problématiques diverses : forêt de BIMO, collines rocheuses, ville de BANGUI, ranch de la Mbali ; cette dernière s'est révélée plus propice aux études et c'est sur elle que les travaux se sont concentrés.

2.1.2 Choix des dates

Pour définir et comparer les signatures spectrales de divers thèmes du milieu naturel ou anthropisé et suivre leur évolution saisonnière, il fallait que plusieurs vues soient captées, aux époques les plus caractéristiques de l'année météorologique et dans les conditions les plus favorables : de telle sorte que ni la nébulosité de l'atmosphère ni les feux de brousse ni quelque autre phénomène adventice ne vienne les masquer. Parallèlement, il était souhaitable que ces thèmes puissent être observés (sur le terrain) en l'état, sinon dans l'instant même, où leur signature a été perçue par le capteur HVR.

Quatre prises de vues avaient été programmées à cet effet (juin, août, décembre 1986 et mars 1987) en se référant au pluviogramme de BANGUI (fig. 2). Cependant, la première (12.06.86) était excessivement nuageuse. Elle n'a pu être remplacée en juin 1987 car les conditions météorologiques n'ont pas été plus favorables. On s'est donc contenté de 3 imageries (*).

Celle du 29.08.86 est localement perlée ou masquée de cumulus. Celle du 04.03.87 est légèrement voilée d'une brume sèche qui altère les signatures. Celle du 11.12.86 seule est indemne d'artéfacts atmosphériques mais à cette date, par contre, les feux de brousse sont survenus de sorte que des brûlis surimposent partiellement une signature uniforme à celles des savanes (le ranch de la Mbali n'a pas encore brûlé et sa végétation apparaît bien différenciée).

(*) La vue du 29.08.86 correspond à la pleine saison des pluies mais, en 1986, ce mois d'août a été relativement peu arrosé. Toutefois une petite pluie était tombée la veille : 11,4 mm à l'ORSTOM et 8 mm à l'Aéroport.

Lors de la seconde prise de vue le 11.12.86, la saison sèche est précocément installée depuis 1 mois. Une dernière averse a été enregistrée le 30 novembre : 17,7 mm à l'ORSTOM et 18,2 mm à l'Aéroport.

Au 04.03.87 correspond la fin de la saison sèche mais 2 averses ont été enregistrées en février : 14 et 16 mm respectivement les 23 et 24 février à l'ORSTOM.

La présence d'artéfacts d'origine météorique ou anthropique est très gênante. Bien que la plupart d'entre eux soient liés aux saisons, les rythmes et les intensités de leurs manifestations sont si variables d'une année à l'autre qu'on ne peut en prévoir exactement l'occurrence ni s'en garantir sûrement. Il est néanmoins souhaitable que les utilisateurs proposent des fourchettes chronologiques aussi ajustées que possible aux évolutions présumées du milieu ainsi qu'à leur problématique propre.

Il est également souhaitable qu'une certaine souplesse d'exécution puisse être ménagée pour exploiter les opportunités et éviter les acquisitions inutilisables. Utilisateurs et producteurs d'imagerie doivent renforcer leur concertation et maintenir une communication permanente à cet effet.

L'ajustement des programmations pourra être affiné grâce, justement, à l'information livrée par SPOT. En effet, ce n'est pas le moindre résultat de ce PEPS que d'avoir perçu, comme nous le verrons, que les pluies, les feux, les migrations..., se sont manifestés en 1986-87 à d'autres dates que celles que l'on présumait de sorte que leur calendrier pourra être peu à peu révisé et précisé (*).

Une autre limitation est résultée de trop grands décalages entre les dates de prise de vue, de livraison de l'imagerie et d'étude du terrain (**). Il est en effet nécessaire que l'équipe de terrain dispose des images analogiques pour se repérer et choisir ses itinéraires. Elle doit en disposer dans les délais les plus brefs afin de voir ce qu'a perçu le capteur et comparer les objets à leurs images avant que leurs apparences n'aient été modifiées.

Il faudrait donc que SPOT confirme les dates de saisie à l'utilisateur, que celui-ci se tienne prêt à intervenir simultanément avec les moyens appropriés (avec prise de vue photographique ou radiométrique, au sol ou aéroportée notamment) et que les délais de livraison des imageries soient resserrés.

(*) Par exemple, l'examen de l'image du 11.12.1986 révèle que les feux ont été précocement allumés (on les présumait en janvier ou février) de sorte que dès cette date il y a des brûlis au sol et de la fumée dans l'air. Il eut donc été plus judicieux de programmer la vue fin novembre.

(**) Après que l'imagerie de juin 86, reçue par l'ORSTOM en octobre, ait dû être écartée pour cause d'ennuagement, celle d'août a été reçue dès le 3 octobre mais celle de décembre n'a été transmise que le 25 mars 87 et celle de mars, le 15 mai. Or, les travaux de terrain devaient être achevés en avril. Quant au travail de comparaison diachronique, il n'a pu commencer véritablement qu'en juillet 87.

2.1.3 Qualité des images

Les images du 29.08.86 et du 11.12.86 sont affectées d'un lignage vertical anormalement important et inégalement réparti, plus important semble-t-il à l'Ouest de BANGUI (photo 1).

Il n'avait pas été initialement prévu de couple stéréoscopique. La vue oblique vers l'Est qui avait été programmée en juin 87 pour remplacer celle de juin 86, ennuagée, aurait dû constituer un couple avec les vues obliques vers l'Ouest acquises en août et décembre. Il est doublement regrettable que cette vue elle aussi ait été ennuagée.

2.2 Etudes de terrain et références thématiques

Plusieurs missions de terrain ont été effectuées (*). Les plus importantes ont été contemporaines de la prise de vue de mars 87 mais les utilisateurs ne disposaient encore, sur le terrain, que de l'imagerie d'août 1986, à contre-saison. Aucune mission n'était plus possible, après la fourniture des dernières images.

Elles ont permis d'observer la végétation (espèces, hauteur, couverture au sol, couleur, densité...) et les sols (type, couleur, texture superficielle...). Une quinzaine de posés d'hélicoptère ont permis d'atteindre des sites d'accès communément difficile.

Il est malaisé de trouver des repères de situation en savane, pratiquement impossible en forêt dense, tant en survol qu'à terre. Or, des observations non-situées n'ont pas d'intérêt. Il importe donc d'affiner les méthodes de positionnement, éventuellement par recours à un système du type SATNAV. Ces difficultés ont fait privilégier le secteur du ranch de la Mbali (fig. 1) où subsiste un réseau de pistes, bon canevas de repérage à partir duquel on a progressé par arpentage.

Les observations les plus adéquates ont été effectuées en vol à faible altitude (100-200 m). Elles concernent l'aspect du sol et de la végétation à la verticale et prennent en compte le relief, la rugosité, la couleur, les taux réciproques de dénudation et de couverture, les ombrages, etc. Elles constituent la base de discussion. Les thématiciens doivent en effet se rappeler qu'une description de terrain peut être tout à fait inadaptée à la perception radiométrique si elle est rédigée dans les termes usuels de telle ou telle discipline, botanique ou pédologique par exemple.

(*) Y. BOULVERT et TH. SIMON, mars 1986 et janvier 1987 ; Y. BOULVERT, TH. SIMON, J. ALLARD, B. VOLKOFF, mars 1987 avec survol hélicoptéré ; J. ALLARD, mai et juin 1987 ; de WISPELAERE, LE MASSON et BOULVERT, juin et novembre 1987 avec second survol hélicoptéré.

Parallèlement, les documents disponibles ont été consultés (3 à 6) ; d'autres ont été élaborés ad hoc (7). Des cartes d'approche au 1/10 000è ont été préparées par projection murale des compositions colorées diapositives.

A noter que les cartes de BOULVERT ont été dessinées à partir des couvertures aériennes verticales IGN de 1959-60 (à 1/50 000è) et 1982 (à 1/60 000è).

Il eut été possible de numériser certaines informations extraites de l'étude du terrain ou des documents, de les comparer aux données et de les "injecter" dans les images que l'on a créées.

3. TRAITEMENTS NUMERIQUES

3.1 Principes

Les traitements numériques ont été conditionnés par une nouvelle problématique, liée à la nature même de l'imagerie SPOT. Celle-ci est en effet si riche en information et sa définition si précise que les méthodes courantes de classification multi-spectrale ne donneraient que des résultats décevants, notamment pour les zones dont le paysage est d'une extrême complexité. Aussi, leur a-t-on préféré une procédure d'analyse entièrement supervisée par le thématique à l'aide des relevés de terrain.

Ainsi, on applique aux longueurs d'ondes originelles les transformations les plus propres à obtenir une composition colorée contrastée et équilibrée dans tous les secteurs de l'image, sur laquelle les unités topologiques sont parfaitement différenciées et peuvent être aisément identifiées.

Cette méthode, à première vue empirique, use en réalité de procédés reproductibles et précis, propres à parfaire la lisibilité des images : composantes principales, dérivées directionnelles, rapports de canaux et rotations d'axes.

Dès l'obtention d'une composition colorée ad hoc, le thématique en "extrait" ses unités topologiques à partir des critères de proximité chromatique comme s'il s'agissait d'une photo-interprétation. Une nouvelle image qui ne contient plus que les unités extraites est alors créée et les limites territoriales des classes vérifiées.

A cette image qu'on appellera image thématique brute on applique divers algorithmes capables d'éliminer les éléments perturbateurs éventuels (pixels mal placés ou non classés) et d'analyser statistiquement la répartition des classes obtenues.

3.2 Procédure

- Registration : les 3 images ont été enregistrées afin de les rendre parfaitement superposables en leur appliquant un modèle de rectification polynomial.

- Création de 3 nouveaux plans A, B, C, comme suit :
 - A : transformée linéaire des canaux 3 et 2,
 - B : transformée linéaire des canaux 2 et 1,
 - C : dérivée directionnelle du canal 1.
- Création de la composition colorée A - B - C.
- Extraction des unités topologiques identifiées et création d'un nouveau plan D contenant le rangement des classes.
- Vérification sur la nouvelle image D (par rapport à la "vérité-terrain") de la validité des classes et de leurs limites territoriales.
- Elimination des pixels parasites et rectification des contours par expansion géométrique.
- Mesure de la répartition des thèmes sous maillage choisi.
- Comparaison entre données statistiques des différentes dates et création de cartes.

3.3 Production des cartes

Pour chaque date il a été créé :

- 1 carte thématique détaillée (10 à 13 thèmes),
- 1 carte à thèmes regroupés (4 ou 5),
- 4 cartes de répartition statistique des thèmes principaux (ou intensité thématique).

De plus : 1 carte diachronique relative à la répartition du thème "sols nus", obtenue par superposition des zones d'intensité maximale de ce thème pour les 3 dates.

3.4 Autres possibilités de traitement ou d'expression

Pour opérer des comparaisons diachroniques, il faudrait pouvoir opérer à radiométrie constante, en dépit des nuages et des brumes. Du fait de leur double contour (corps lumineux et ombres sombres), les nuages peuvent être approximativement identifiés et délimités. Il est plus difficile de circonscrire les perturbations radiométriques introduites par les brumes et fumées car elle agissent comme des filtres plutôt que comme des masques et n'offrent pas de contours nets.

Dans le cas présent, pour tenir compte de la brume de mars et des nuages d'août, un recalage radiométrique aurait pu être aisément opéré mais cela n'a pas paru nécessaire dans le cas d'une manipulation interactive intégralement supervisée.

Une grande variété de manipulations comparatives des chiffres et des tracés peut à chaque instant être envisagée sous forme de tableaux, de graphiques ou de cartes. On a privilégié l'expression cartographique.

4. COORDINATION

Après les phases d'acquisition d'imagerie, de travaux de terrain puis de traitements numériques, la phase d'exploitation n'est pas moins longue ni délicate. Elle peut remettre en cause les phases précédentes.

Dans le cas présent, bien qu'il se soit écoulé 21 mois entre la prise d'effet du PEPS et l'échéance du Colloque, les exécutants ont été pris de court. En effet, l'imagerie diachronique dont l'acquisition était programmée sur un an n'a été disponible (et partiellement) qu'après 15 mois. A l'issue de ce délai, plusieurs membres de l'équipe initiale se trouvaient requis par d'autres affectations ou obligations avant d'avoir pu concrétiser leur collaboration.

Au terme de ce PEPS auquel une somme importante de temps et de travaux a été consacré, la zone qui a pu être étudiée de façon systématique et approfondie (extrait Gomoko) n'excède pas 20 x 20 km, soit 400 km², soit 1/9^è de la scène. Quant aux cartes reproduites, elles ont été limitées à 20 x 15 km (soit 1/10^è de la scène) par la nécessité de les reproduire en format courant d'édition A4.

L'étude d'autres fenêtres ou l'extrapolation des résultats à l'ensemble de la scène ne pourraient être envisagées qu'à l'occasion d'une nouvelle phase.

5. RESULTATS ET COMMENTAIRES

5.1 Remarques préliminaires

Il avait été initialement prévu d'étudier les milieux naturels et aménagés ; quatre zones avaient été retenues en tant que sièges de problématiques particulières. Cependant, le milieu naturel seul a été traité de manière approfondie ; les travaux se sont concentrés sur le secteur "Gomoko" (20 x 20 km), plus propice ; les planches publiées cadrent la zone "Mbali" (20 x 15 km).

Traitant de la dynamique saisonnière, on ne peut décrire des changements sans définir aussi ce dont les aspects changent. L'analyse de l'imagerie tend donc à identifier dialectiquement l'essence des objets qui est permanente et leurs apparences qui sont temporaires. Traiter séparément des aspects statiques ou dynamiques de l'imagerie diachronique ne peut représenter qu'une commodité de rédaction.

Par ailleurs, l'exposé ne peut s'affranchir d'ambiguïtés. Comment définir les aspects sans préjuger des objets ? Comment désigner d'un même mot des ensembles radiométriques qui se superposent dans l'espace mais dont les signatures spectrales diffèrent dans le temps ?

Il en est de l'information radiométrique comme du fleuve dans lequel, selon Héraclite, on ne se baigne jamais qu'une fois. Elle n'a de signification qu'immédiate et de plus, nous restons tributaires des concepts et des langages courants des naturalistes, faute de conventions plus satisfaisantes à leur substituer.

5.2 Description des images

Les compositions colorées intègrent les données multispectrales et proposent donc, à l'état brut, une information globale. L'intérêt et les limites d'emploi des compositions colorées analogiques (CCA) étant connues, elles n'ont pas été reproduites ici.

Les compositions colorées numériques (CCN), en 255 valeurs codées, sont des images complexes et souvent confuses pour l'oeil mais dont l'information virtuelle peut être extraite et classée par l'ordinateur. Les CCN constituent les bases de tous nos traitements. L'extrait Gomoko/04.03.87 en est un exemple (planche 0).

Les planches 1, 3 et 5 (*) représentent les classifications en 13, 12 ou 10 thèmes des extraits "Mbali" des 3 vues. Les classifications ne se correspondent pas classe par classe car chacune d'elles fait place à tel ou tel élément saisonnier du milieu, selon l'expansion ou la restriction momentanée de tel ou tel ensemble radiométrique, identifié à tel ou tel thème du paysage.

Les paysages sont structurés par leurs éléments les plus permanents qui sont : le cours de la Mbali, les forêts-galeries et les forêts denses résiduelles (photo 2 et 3) d'une part ; les parties les plus réfléchives de l'infrastructure routière et villageoise (photo 8) ou certaines surfaces naturellement réfléchives en toutes saisons (les lakéré, photos 6 et 7) d'autre part.

La dynamique saisonnière s'exprime par la variabilité des surfaces attribuées à d'autres thèmes ; savanes périforestières plus ou moins arborées et denses (photos 2, 3 et 4), végétation adventice - herbe du Laos (photo 5), sols dénudés (photos 10 et 12) ou aspects composites, caractéristiques d'une dégradation anthropique du milieu (photos 9 et 11).

(*) La présentation des planches souffre de quelques imperfections, notamment le choix des couleurs et l'identité de celles-ci, entre planche et palette ou entre diverses planches. Cela n'altère pas leur signification.

Les images de la forêt-galerie sont stables parcequ'elle occupe des thalwegs dont l'humidité permanente entretient la densité des frondaisons et leur activité chlorophyllienne, et que la densité du couvert ainsi que le caractère hydromorphe des sols n'en favorisent pas l'exploitation.

L'instabilité relative des forêts résiduelles, clairiérées ou éclaircies ainsi que des savanes périforestières résulte de conditions inverses : mauvaise alimentation en eau, accès aisé, sols convoités pour l'exploitation ou surpâturés...

En août (saison des pluies), la végétation est au plus fort de son développement et de son activité, d'où une certaine uniformité radiométrique. Les savanes couvrent bien les sols, y compris ceux des lakéré ou du moins leur périphérie (à noter que les lakéré n'ont pu être dissociés des nuages là où ceux-ci ne les masquent pas). Elles se transforment localement en fourrés. Leurs signatures sont diversifiées. Les forêts sont perçues comme "denses" et ne se départagent qu'en 2 thèmes. L'herbe du Laos constitue des populations denses et homogènes dont la signature est spécifique. Les savanes dites "clairsemées" (classe 3) représentent une transition entre savanes et sols dénudés, signe de la fragilisation du milieu.

La Mbali est en eau. Des zones marécageuses s'étendent le long de son cours. Des zones humides apparaissent au milieu des savanes. Sur la CCA de la scène, on relève un grand nombre de petites taches bleuâtres qui correspondent à des dolines momentanément remplies d'eau. Ces dépressions karstiques signalent la présence d'affleurements carbonatés de la série de Bobassa. Ces mares n'avaient jamais été localisées auparavant car les photos aériennes étaient toujours prises en saison sèche.

En décembre, la dénudation des sols gagne du terrain le long des axes de circulation. Les lakéré s'individualisent. La forêt est perçue différemment et se diversifie en 3 thèmes. Les savanes en comportent 4 car les brûlis en constituent un. L'herbe du Laos est encore distincte (elle ressort mal de la planche 3 faute d'un contraste plus vif de la coloration mais elle a pu être très bien localisée sur une vue du début de la saison sèche de la scène voisine, par DE WISPELAERE, étude à paraître).

En mars (saison sèche), lakéré et sols dénudés prennent leur plus grande extension comme suite au surpâturage et au surpiétinement de sols et de végétations fragiles (photos 9 à 12).

Les espaces qui étaient brûlés en décembre se manifestent comme végétation active. Les feux précocement allumés ont donc atteint leur objectif en régénérant les pâturages (sans pour autant que cette pratique soit recommandable sous tous rapports).

La forêt s'est repliée sur ses positions stables. L'herbe du Laos n'apparaît plus. L'eau de la Mbali n'est perçue que de façon discontinue. Il n'y a plus de zones humides sinon peut-être au nord-est, coïncidant avec une forêt dense d'interfluve s'il ne s'agit pas d'un artéfact.

La comparaison, des 3 planches fait apparaître des contradictions qu'on ne peut expliquer, faute d'une vérité-terrain locale incontestable : des substitutions savanes-forêts dégradées notamment.

On évalue à 1/10 de l'espace cartographié la surface des thèmes stables, 9/10 étant sujette à transformations.

5.3 Dynamique saisonnière

Les planches 2, 4 et 6 représentent les classifications réduites à 4 ou 5 thèmes fondamentaux des mêmes extraits. Le glissement qui s'opère entre surfaces plus ou moins densément couvertes et surfaces plus ou moins dénudées est mis en évidence (attention - planche 2 - de ne pas confondre les sols nus, en jaune foncé, avec les nuages qui sont figurés en jaune clair dont la teinte n'est pas rapportée sur la palette).

Quelques regroupements de thèmes sont arbitraires et engendrent des invraisemblances : l'ensemble "forêt" semble avoir été sousestimé en août ou surestimé en mars.

Ces planches sont des étapes vers la représentation suivante.

Les planches 7 et 8 offrent la comparaison deux par deux des cartes d'intensité thématique relatives aux thèmes "forêts" et "sols nus" de deux dates. Cette représentation situe les forêts dans leurs limites stables (là où la densité statistique du thème est supérieure à 90 %), presque superposables entre août et mars.

Elle met en évidence la variabilité des "sols nus". On a représenté ceux de décembre plutôt que ceux d'août dont l'image eut été presque blanche. On voit le contraste avec leur extension en mars.

Les proportions de sols nus sont :

- août	0,86 %	3,4 ha
- décembre	6,50 %	25,9 ha
- mars	27,80 %	111,2 ha

La planche 9 enfin superpose les surfaces de plus forte intensité thématique des 3 dates et fait apparaître que certaines surfaces sont irréversiblement dénudées. D'autres restent toujours couvertes (forêts en rouge et "blanc" des thèmes intermédiaires). La dynamique saisonnière affecte donc de vastes superficies qui se dénudent plus ou moins brièvement.

Le déficit de reconstitution du couvert affecte surtout la proximité des villages, des axes de circulation et des campements nomades : ainsi, l'ancien ranch de la Mbali, fréquenté par les Mbororo. Les dommages causés au milieu sont récents comme en témoigne la carte des pâturages de 1964 (DE WISPELAERE et LAMARQUE in AUDRU et BOUDET) et le fait que l'immigration des Mbororo résulte des événements tchadiens de la dernière décennie.

5.4 Cartographie des sols

L'application de la télédétection à la cartographie des sols ne peut être qu'indirecte et approximative. En premier lieu parce que la surface des sols est généralement masquée par la végétation. En second lieu parce que, même sans végétation interposée, il ne pourrait y avoir de corrélation directe entre la réflectance de surface et les "types" de sols, tels que les pédologues les décrivent et les définissent habituellement.

Les typologies pédologiques classiques se réfèrent à des modèles conceptuels dont l'organisation en profondeur importe plus que l'état de surface. De tels objets ne peuvent avoir de signature propre. Ils sont "camouflés" par des objets-parasites (végétation, état de surface...) dont les images sont d'autant plus complexes et instantanées que le capteur est d'une plus fine sensibilité.

Dans la zone Mbali, les contrastes pédologiques les plus marqués opposent les affleurements rocheux (sols minéraux bruts), l'ensemble des sols hydromorphes et celui des sols ferrallitiques parmi lesquels certains sont eux-mêmes hydromorphes ou indurés. Ces contrastes se manifestent plus ou moins nettement et temporairement par le biais de l'humidité et de la végétation propres aux étendues concernées. Les critères secondaires tels que la couleur (rouge, ocre...) ont peu de chance de se démarquer radiométriquement de façon nette et stable.

Les planches 11 et 12 représentent des extraits des cartes des sols et de la végétation dressées par BOULVERT par photo-interprétation, agrandis et cadrés à l'échelle et aux limites des planches de classification radiométrique (extrait Mbali). La comparaison montre bien que SPOT est moins sensible à la nature intrinsèque des sols qu'à leur couverture végétale et que sa perception est très inégalement approximative. On observe des coïncidences mais elles sont partielles, souvent contradictoires et ne prêtent pas à la généralisation.

En saison des pluies (août), la végétation étant au plus fort de son développement surimpose partout sa signature. Les sols hydromorphes des forêts-galeries sont repérables. Ceux des savanes marécageuses ne le sont que partiellement. On peut localiser les dolines dans d'autres parties de la vue.

La vue de décembre est assez peu utilisable. En saison sèche (mars), les contours de certaines savanes herbeuses censées recouvrir des sols hydromorphes sont fidèlement reproduits sur l'image radiométrique mais elles n'avaient pas été séparées d'autres savanes. Les formations indurées ou cuirassées sont signalées par leur dénudation mais les divers documents diffèrent singulièrement.

Certes, la cartographie pédologique classique procède d'une opération de télédétection analogue (sur photographies aériennes) qui comporte une part d'interprétation et d'extrapolation. Si donc SPOT ne voit pas ce qu'a représenté le pédologue, ou s'il voit autre chose ou s'il situe sa vision dans d'autres contours, il ne serait pas absurde de donner raison à la vision radiométrique spatiale plutôt qu'à la vision photographique mais, dans l'état actuel de l'imagerie multispectrale et des typologies pédologiques, il serait hasardeux de se fier uniquement à la télédétection pour établir ou réviser les documents pédologiques usuels.

Les pédologues qui depuis 40 ans dressent leurs cartes par photo-interprétation tirent parti de la perception stéréoscopique des modelés tout autant que de la perception comparative des tonalités de gris propres aux aspects de surface. Ils procèdent d'une façon intuitive non-systématique. Il est donc regrettable qu'une imagerie stéréoscopique en mode panchromatique n'ait pas été prévue et n'ait pu être testée dans le cadre de ce programme.

L'imagerie stéréoscopique à fine résolution offerte par SPOT (10 m/pixel) aurait peut-être restitué aux pédologues la vision en relief, la perception indirecte de la répartition des sols et la démarche intuitive qui leurs sont familières alors que l'extrême codification de l'information multispectrale les déconcerte et masque plutôt qu'elle ne révèle l'objet propre de leur discipline. Cette application de SPOT reste à tenter.

5.5 Etude de la ville de BANGUI

La planche 10 figure l'accroissement de BANGUI tel qu'il apparaît sur les agrandissements des CCA, par comparaison avec les documents historiques.

La croissance de la capitale centrafricaine accroît le besoins en bois de chauffage et provoque le déboisement anarchique des environs, l'érosion, le ruissellement, divers phénomènes qu'une étude plus approfondie permettrait sans doute de saisir et d'évaluer.

5.6 Etude des cultures

Les plantations indigènes sont trop petites et dispersées pour être repérées et étudiées. Les plantations industrielles par contre apparaissent bien sur l'imagerie.

Cependant, la principale opération culturelle conduite sur ces plantations, c'est la lutte contre les herbes adventices et notamment contre l'herbe du Laos qui les a envahies depuis peu, étouffe les cultures et présente des risques d'incendie. Des équipes sont continuellement à l'oeuvre de sorte que d'un jour à l'autre, les andains d'herbes vertes, sèches ou décomposées alternent avec l'herbe sur pied, plus ou moins touffue et verte elle-même. Il semble illusoire dans ces conditions d'extraire une information radiométrique propre au développement des espèces cultivées.

6. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Pour obtenir des imageries nettes d'artéfacts et saisir les thèmes de recherches dans leurs états les plus significatifs, il importe, d'une part, que les utilisateurs affinent leurs connaissances des états périodiques de l'atmosphère et du terrain local afin de fournir aux programmeurs des prises de vues les fourchettes chronologiques les mieux ajustées aux problématiques en cause ; d'autre part, que la coordination soit constamment maintenue, avec souplesse, entre la prise de vue et l'intervention des équipes de terrain.

Les équipes de terrain doivent positionner leurs observations exactement, au moyen de méthodes précises.

Les thématiciens doivent s'affranchir des routines de langage de leurs disciplines et adapter leurs descriptions à la perception radiométrique satellitaire.

Les traitements numériques appliqués à ce PEPS impliquent en effet l'intervention déterminante des thématiciens. Les algorithmes utilisés figurent dans la plupart des logiciels courants mais l'application strictement automatique des classifications multispectrales serait inadaptée à la richesse et à la finesse d'information qui caractérise l'imagerie SPOT.

On s'est donc attaché à valoriser cette information en créant une composition colorée spécifique, nettement différenciée et contrastée (et homogène en chaque point de l'image) afin de faciliter son interprétation thématique.

A l'issue de ce Programme d'Evaluation Préliminaire SPOT conduit en Centrafrique, on constate que l'analyse numérique des données multispectrales saisit divers aspects instantanés du milieu et "suit" ses variations saisonnières. Cette saisie est plus ou moins précise et fiable selon l'état du milieu à la date de saisie.

L'interprétation dynamique d'une série diachronique de vues est néanmoins spéieuse car on ne peut définir d'états "variants" que par la comparaison d'images supposées "variantes" à l'image

prise pour "témoin" d'un état supposé "normal". A supposer qu'on convienne d'en définir un, on n'en obtiendrait jamais d'image qui ne soit plus ou moins perturbée par quelque condition conjoncturelle.

Par rapport aux moyens d'investigations usuels, à l'interprétation de photographies aériennes notamment, les performances et avantages de la télédétection spatiale SPOT sont considérables. Les couvertures aériennes semblent trop coûteuses pour être renouvelées aux rythmes de suivis à moyen terme du milieu naturel (25 ans) ou du milieu urbain (10 ans), a fortiori pour un suivi à court terme. L'enregistrement quasi-permanent des données SPOT ouvre donc des perspectives très nouvelles.

Parmi les observations effectuées, il y a lieu de rappeler les suivantes :

- . Localisation de dépressions cuirassées du type lakéré.
- . Localisation de dépressions du type doline.
- . Localisation de zones périodiquement ou irréversiblement dénudées de leur végétation ; suivi de la dénudation des sols, de la dégradation du couvert végétal, des effets du nomadisme pastoral : surpâturage, pratique abusive des feux ; évaluation du risque d'érosion.
- . Localisation des forêts-galeries réfugiées sur des sols humides. Evaluation du recul des lisières et de la dégradation interne du boisement ; localisation d'îlots de reforestation (il en existe, correspondant au plus grand éloignement des activités humaines).
- . Suivi de la dispersion de l'herbe du Laos.
- . Suivi de l'urbanisation et de ses effets sur les campagnes.
- . Révision d'idées acquises quant à l'extension et au calendrier de certains phénomènes naturels ou humains.

Bref, on peut envisager sous certaines réserves et dans certaines conditions un monitoring des ressources naturelles et des activités humaines. Tous les résultats peuvent être chiffrés (en surfaces) et comparés (en pourcentages). Les modalités d'expression statistique ou graphique de ces données sont d'une infinie variété.

Il reste néanmoins très malaisé d'établir des cartes d'inventaire complètes et fiables en ce qui concerne certaines disciplines naturalistes car les données radiométriques rendent compte des apparences instantanées et protéiformes des composants du milieu plutôt que de leur nature permanente et de leurs contours stables.

Dans le domaine pédologique, ces données numériques multispectrales masquent peut-être l'objet plus qu'elles ne le révèlent. La vision stéréoscopique en mode panchromatique reste donc à tester.

7. BIBLIOGRAPHIE

- (1) SIMON (Th.), 1986 - Rapport sur la première phase de traitements numériques de la scène SPOT 098/341 du 29.08.86. Programme PEPS-BANGUI, 12 p multigr., ORSTOM et CNES, diff. restr.
- (2) SIMON (TH), VERCESI (L.), SOURDAT (M.), et BOULVERT (Y.), 1987 - Suivi de l'évolution saisonnière d'un milieu naturel de région tropicale humide. PEPS n° 186, BANGUI-CENTRAFRIQUE. 5 p + 3 planches couleurs, à paraître dans les Actes du Colloque SPOT 1 (Novembre 1987). CNES, Toulouse.
- (3) AUDRU (J.) et BOUDET (G.), 1964 - Pâturages de la zone sud de la R.C.A. 213 p + 1 carte (pâturages) à 1/50 000è : ranch de Gomoko. I. E. M. V. T., Maison Alfort.
- (4) WACRENIER (Ph.) et WOLF (J.P.), 1964 - Carte géologique de reconnaissance à 1/500 000è : BANGUI Ouest. Travaux de terrain complétés par POIDEVIN (J.L.), 1975-79, CORNAGLIA (M.) et GIORGI (L.), 1980-87.
- (5) BOULVERT (Y.), 1976 - Carte pédologique de la République centrafricaine, Feuille Bangui à 1/200 000è. Notice N° 64, 116 p + bibliogr. ORSTOM, Paris.
- (6) BOULVERT (Y.), 1986 - Carte phyto-géographique de la R.C.A. à 1/1 000 000è 2 feuilles couleur, Notice N° 104. ORSTOM PARIS.
- (7) ALLARD (J.) et YANDJI (E.), 1987 - Etude forestière des images du satellite SPOT de la périphérie de BANGUI (scène SPOT 098/341 du 29.08.86) - Note sur la corrélation "couleur des images et nature du site". 14 p + 3 cartes à 1/10 000è.

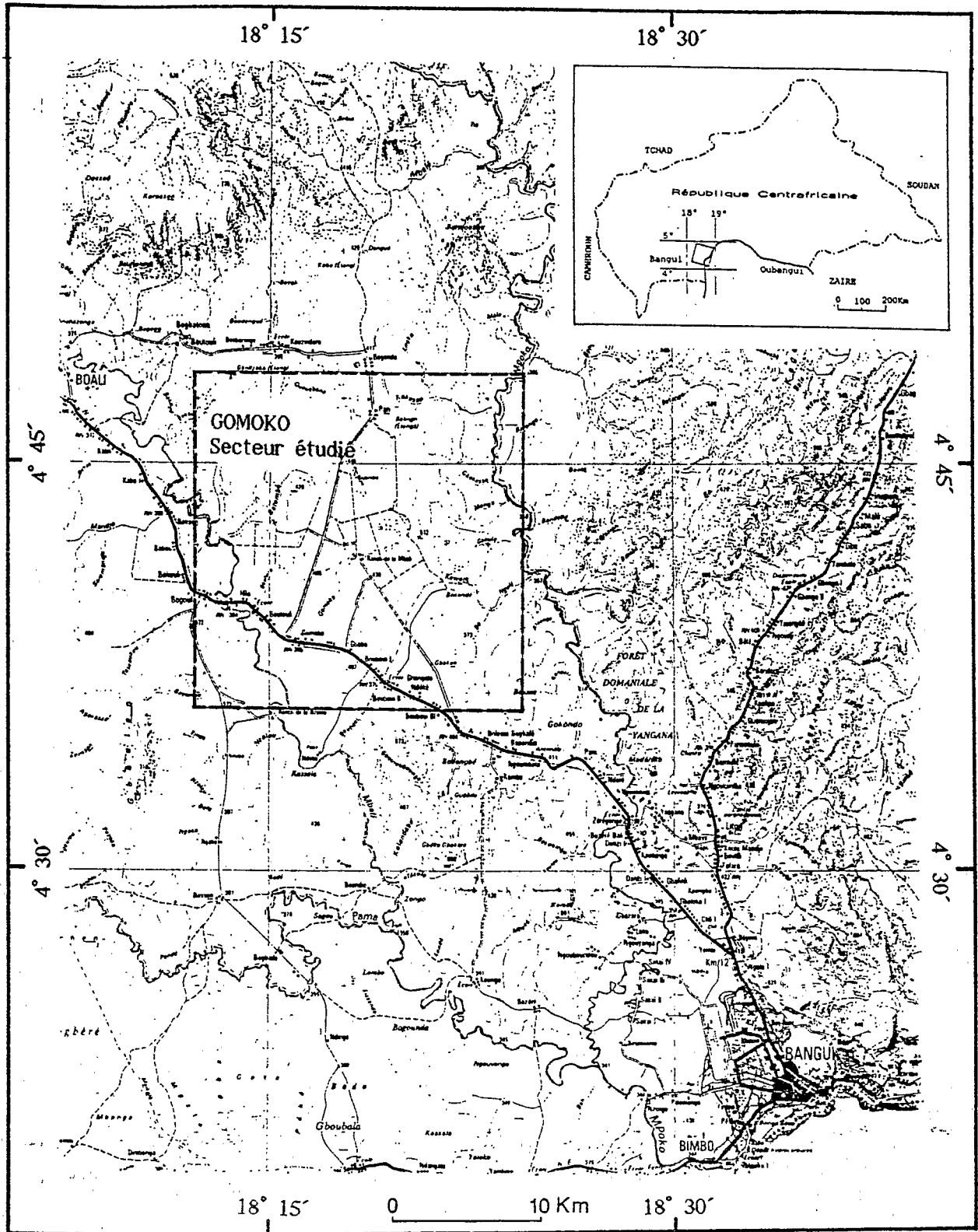


Figure 1 - Carte de situation

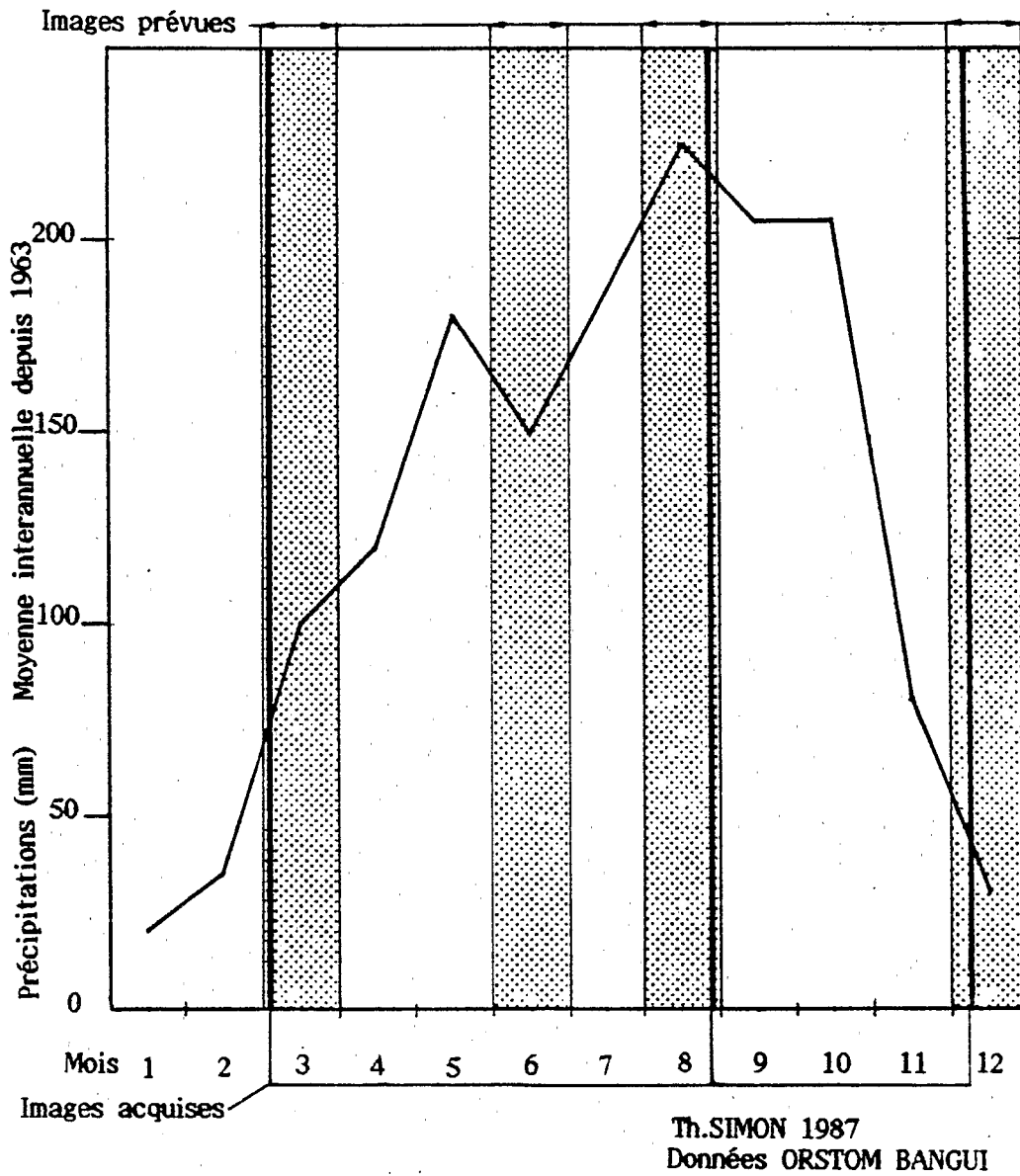
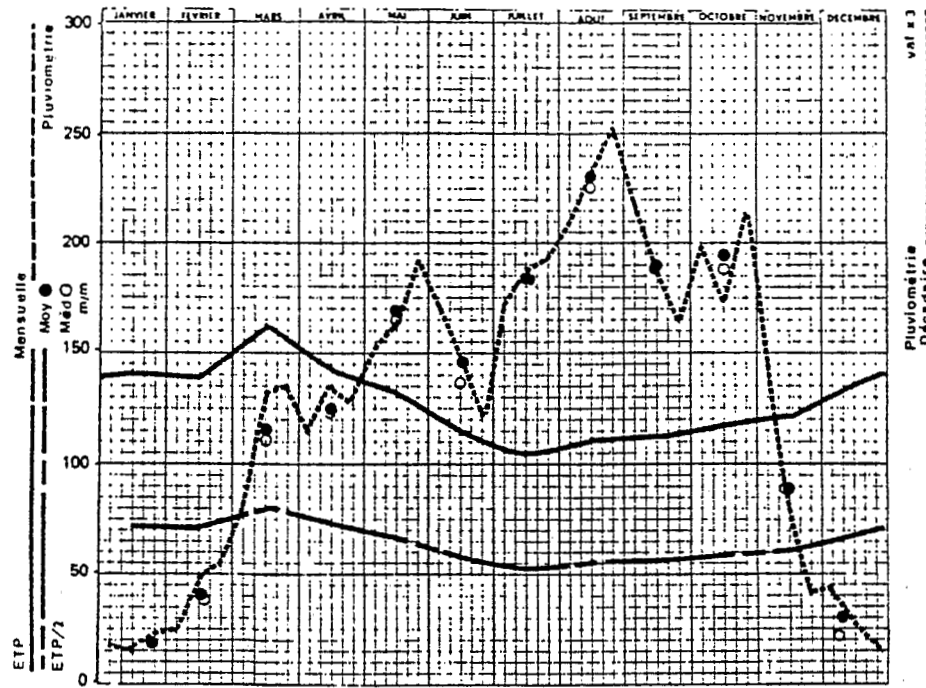


Figure 2 - Pluviogramme de BANGUI
Fourchettes chronologiques des vues programmées
et dates des prises de vues effectuées



GENTRAFRIQUE STATION **BANGUI** L 18° 21' B | 4° 24' A 366 m.

PLUVIOMETRIE MENSUELLE Période Direction: 1931-66 Mpoko: 1967-82 52 années

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	ANNÉE
MOYENNE	19	42	116	125	169	147	184	231	190	195	89	30	1537 mm
C.V. %	97	67	47	41	38	45	32	31	33	29	44	82	12
Médiane	16	38	112	124	166	138	184	226	189	188	89	22	1511 mm

PLUVIOMETRIE DÉCADAIRE Période idem

1er Déc.	6	8	27	38	51	57	57	70	73	66	48	15
2e Déc.	5	16	44	45	54	49	63	77	62	58	27	9
3e Déc.	8	18	45	42	64	41	64	84	55	71	14	6

EVAPOTRANSPIRATION MENSUELLE Calculée Calc. sur estimations Interpolée

ETP	142	139	162	142	134	113	104	111	112	118	122	136	1535 mm
ETP/2	71	70	81	71	67	57	52	56	56	59	61	68	

INTERSECTIONS

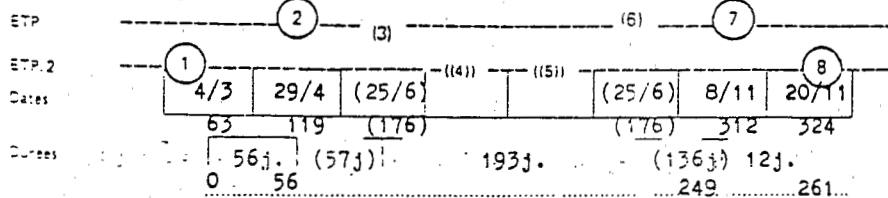


Figure 3 - Météorologie

LEGENDES DES PLANCHES

Planche 0 : Composition colorée en 255 valeurs codées de la vue du 04.03.87. Extrait "Gomoko". Echelle approchée : 1/90 000è.

Planches 1 et 2 : Classifications, en 13 ou 5 thèmes, de la vue du 29.08.86. Extrait "Mbali". Echelle approchée : 1/70 000è.

1	lakéré	1	ensemble "sols nus"
2	sols dénudés	2	ensemble "savanes"
3	savanes clairsemées	3	transition forêt-savane
4	parcelles cultivées	4	forêt
5	savanes densément arborées	5	herbe du Laos
6	savanes arborées		
7	savanes faiblement arborées		
8	ombres, eaux, zones humides		
9	zones humides, marécages		
10	forêts dégradées = savanes boisées		
11	forêts denses (galeries)		
12	fouffés		
13	herbe du Laos		

Planches 3 et 4 : Classifications en 12 ou 4 thèmes de la vue du 11.12.86. Extrait "Mbali". Echelle approchée : 1/70 000è.

1	lakéré	1	ensemble "sols nus"
2	sols très dénudés	2	ensemble "savanes"
3	sols dénudés	3	transition forêt-savane
4	savanes densément arborées	4	ensemble "forêt"
5	savanes de transition (arborées)		
6	savanes brûlées ou humides		
7	savanes boisées = forêt dégradée		
8	parcelles cultivées		
9	herbe du Laos		
10	forêts éclaircies		
11	forêts denses (galeries)		
12	forêts très denses ou actives		

Planches 5 et 6 : Classifications en 10 ou 4 thèmes de la vue du 04.03.87. Extrait "Mbali". Echelle approchée : 1/70 000è.

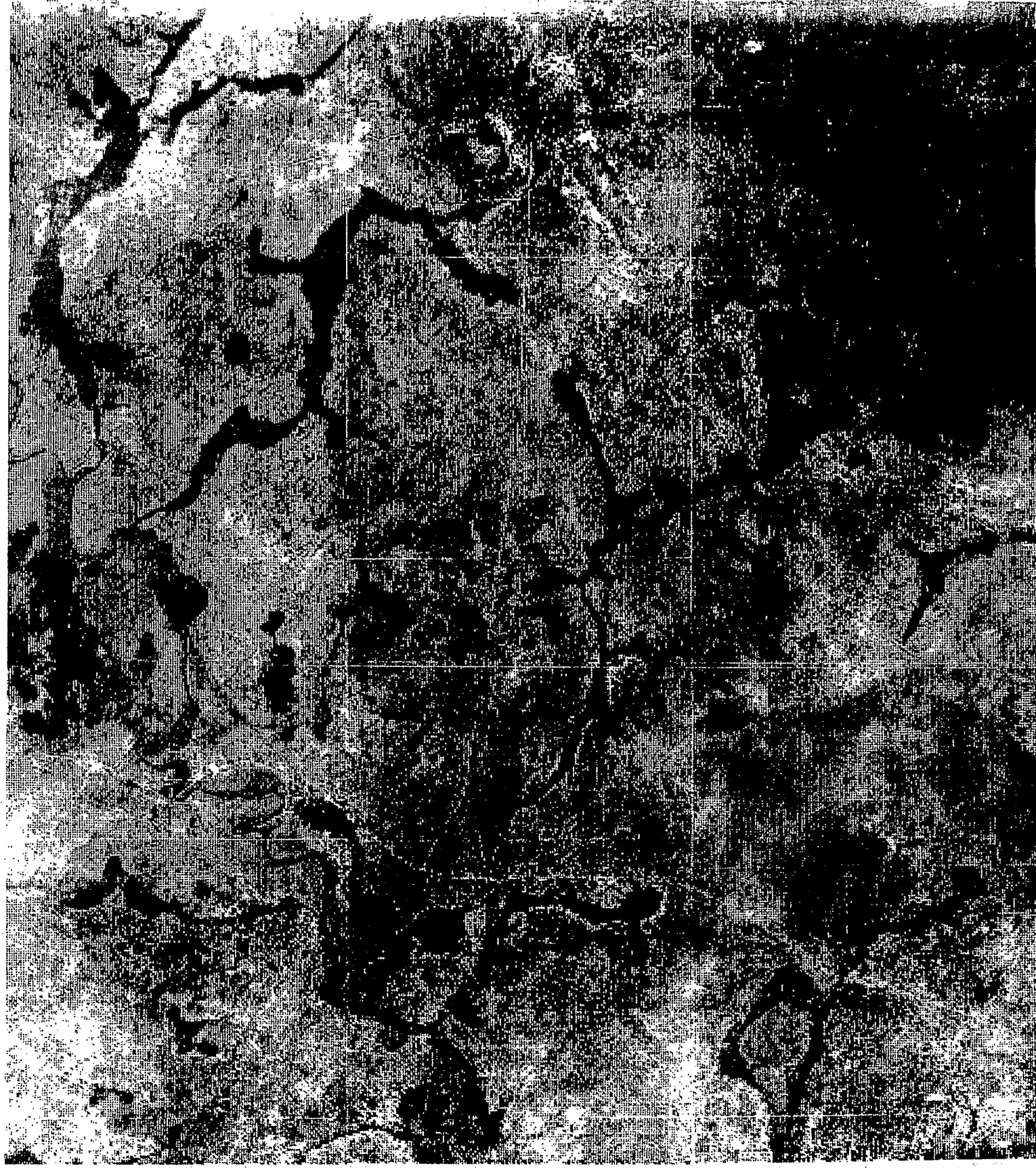
1	lakéré	1	ensemble "sols nus"
2	sols très dénudés	2	ensemble "savanes"
3	sols dénudés	3	transition forêt-savane
4	savanes	4	ensemble "forêt"
5	savanes plus actives		
6	savanes boisées		
7	forêts dégradées		
8	forêts denses (galeries)		
9	forêts denses humides		
10	eaux, zones humides et brûlis (!) et forêts dense		

Planche 12 : Carte de végétation simplifiée (d'après BOULVERT, diff. int.). Extrait "Mbali". Echelle approchée : 1/70 000è.

Forêt dense humide semi-caducifoliées secondarisée	F
- variante des zones humides ou inondées	Fh
Savane arbustive periforestière pyrotolérante commune	S
- variante des interfluves indurés	Scr
Savane herbeuse	
- variante faiblement arbustive dégradée	Sn
- variante marécageuse	SH
- variante des sols hydromorphes	Sh
Savane arborée à <u>Daniella oliveri</u>	A
Savane boisée à <u>Daniella oliveri</u>	AA
Buttes rocheuses	r
Cultures mécanisées abandonnées	ch
Lakéré	lamda

LEGENDES DES PHOTOGRAPHIES (Th. SIMON, MARS 1987)

- photo 1 Lignage vertical du canal 3. Extrait de la vue du 29.08.86. Noter les parcelles vivrières de part et d'autre de la route.
- photo 2 Savane arborée et forêt galerie de GOMOKO. A l'horizon les collines de BANGUI. Au premier plan la piste nord-sud de GOMOKO.
- photo 3 Savane arbustive de GOMOKO avec strate herbacée abondante. Forêt galerie à l'arrière plan.
- photo 4 Savane-parc à *Daniella oliveri* au ranch de la Mbali. Espacement 10 x 10 ; hauteur 10-12 m. Tapis herbacé moyennement abondant.
- photo 5 Envahissement des abords d'une piste par l'herbe du Laos.
- photo 6 Vue aérienne d'un lakéré.
- photo 7 Vue au sol d'un lakéré avec termitières champignons et très mince tapis herbacé desséché.
- photo 8 Sol dénudé d'un village.
- photo 9 Savane dégradée par le passage du bétail : avec végétation résiduelle et arbres très dispersés, à GOMOKO.
- photo 10 Savane arborée (arbres 6-8 m) claire (espacement 6 x 8) sur un sol sableux, dégradé par le stationnement du bétail, à GOMOKO.
- photo 11 Clairière dans une savane arborée avec strate herbacée très dégradée, sur sol argileux rouge, à GOMOKO.
- photo 12 Clairière dans une savane arborée sur un sol argileux rouge presque totalement dénudé.

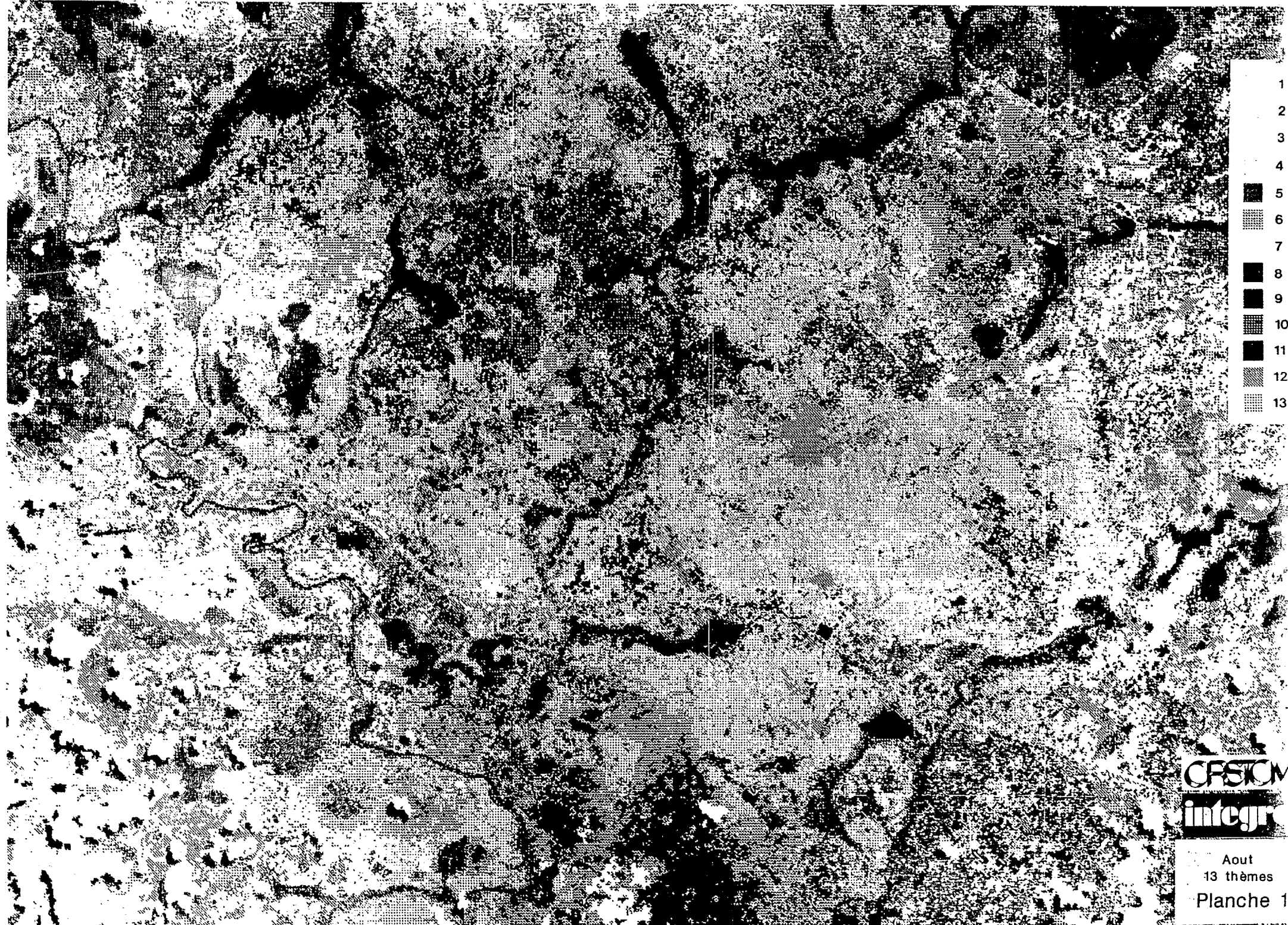


CFSTOM

integro

Composition
colorée
255 valeurs

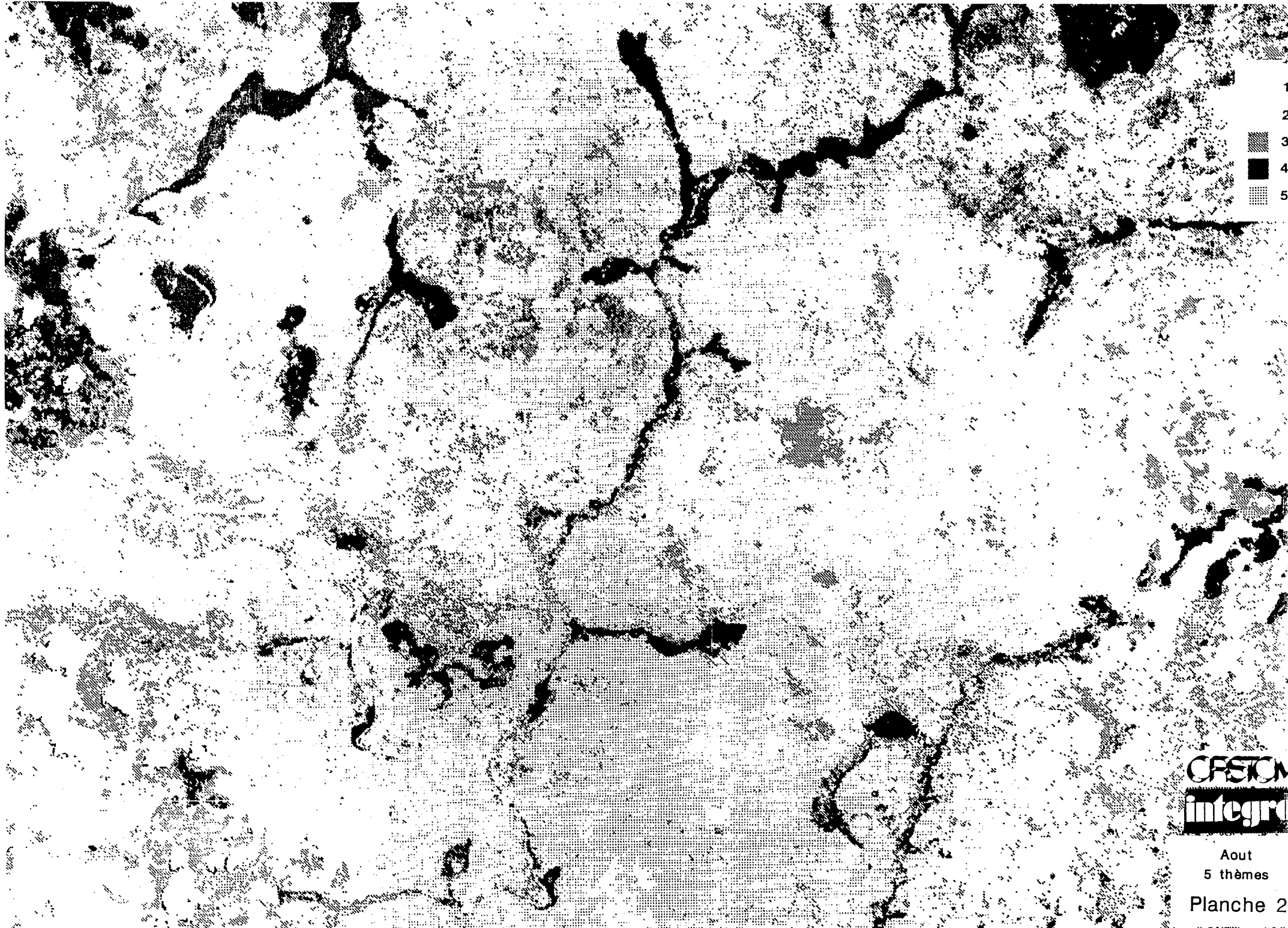
Planche 0



- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11
- 12
- 13

CFSTOM
integro

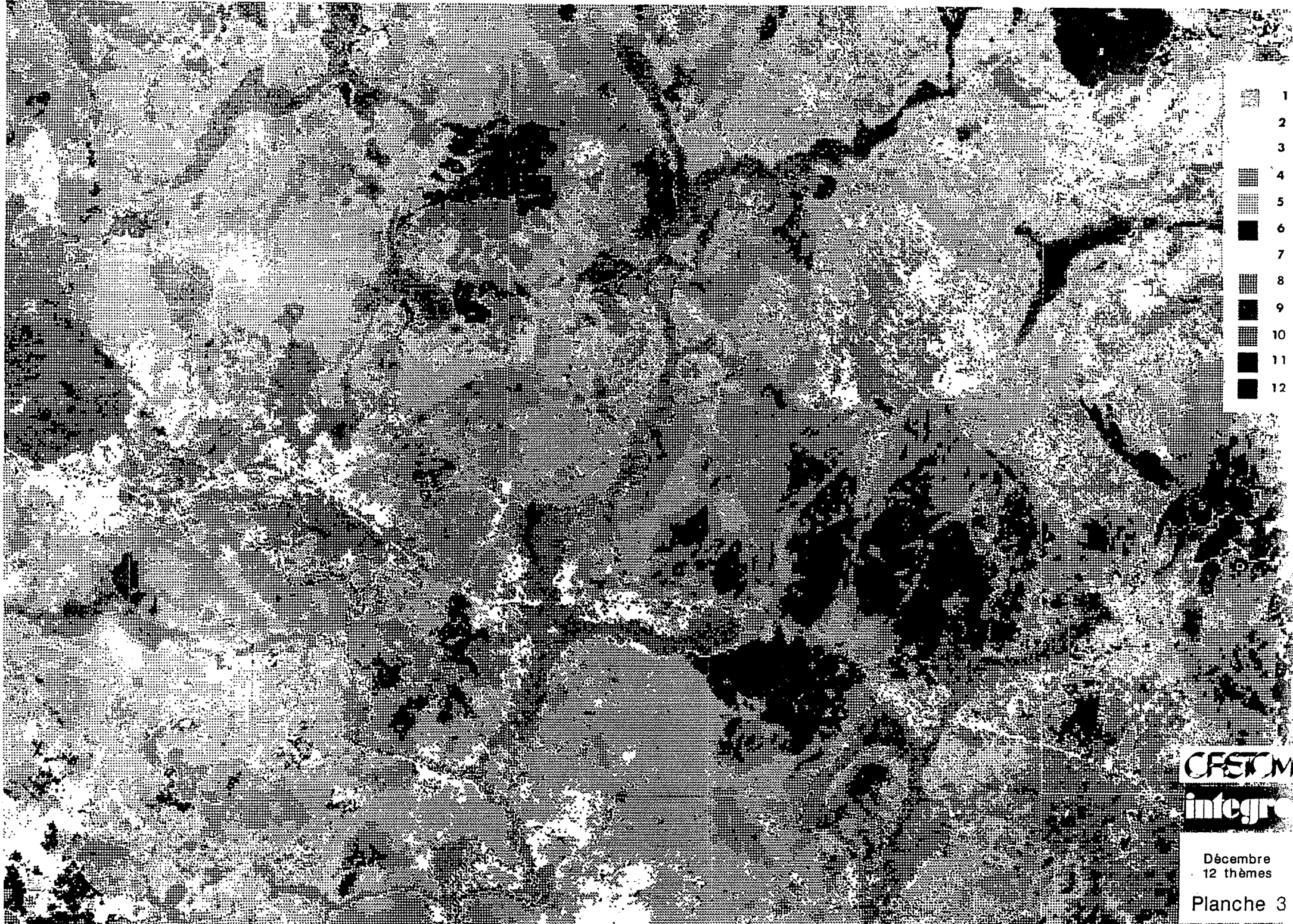
Aout
13 thèmes
Planche 1



- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

CFSTOM
integro

Aout
5 thèmes
Planche 2

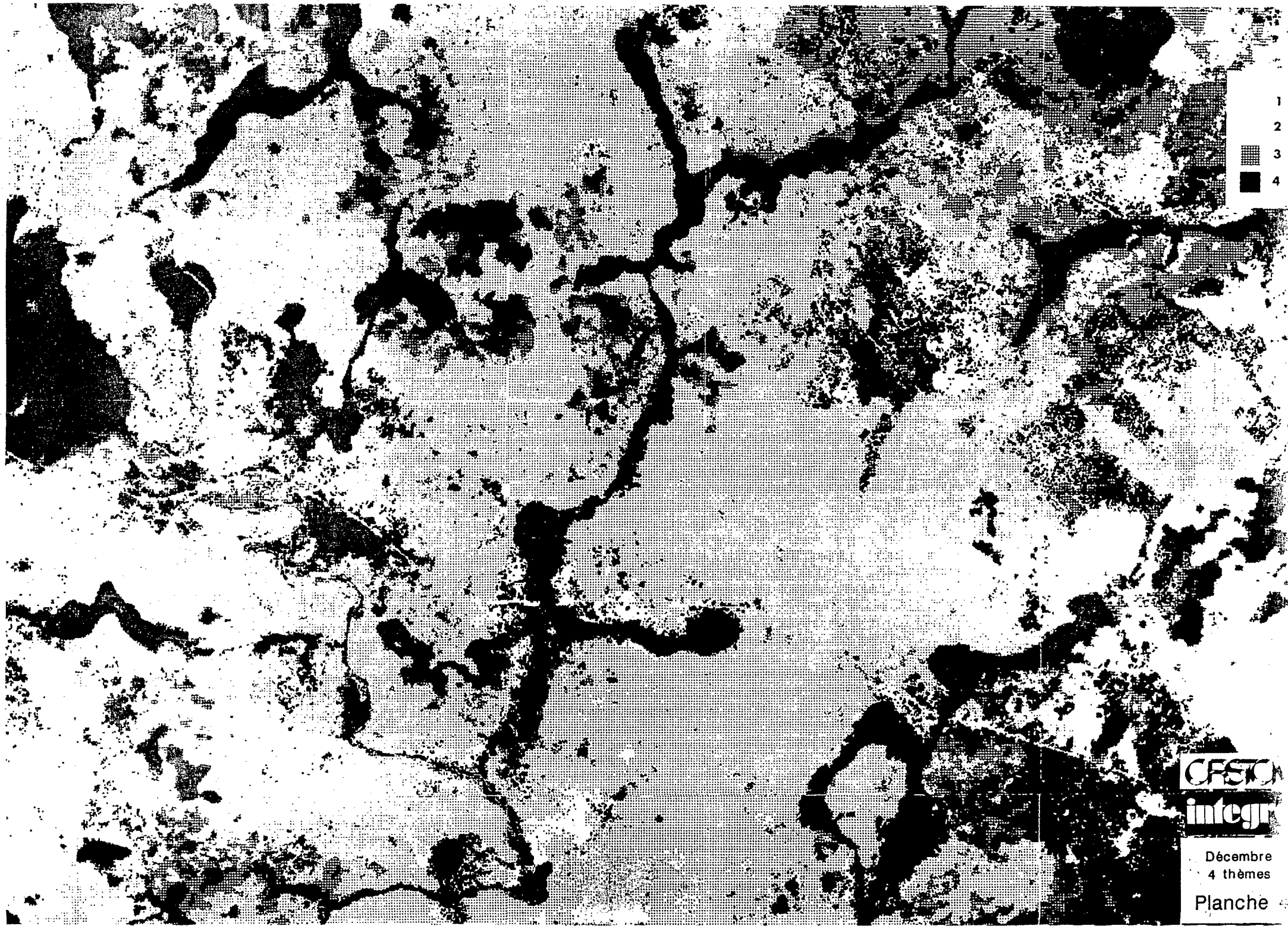


- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11
- 12

CFSTOM
integro

Décembre
12 thèmes

Planche 3

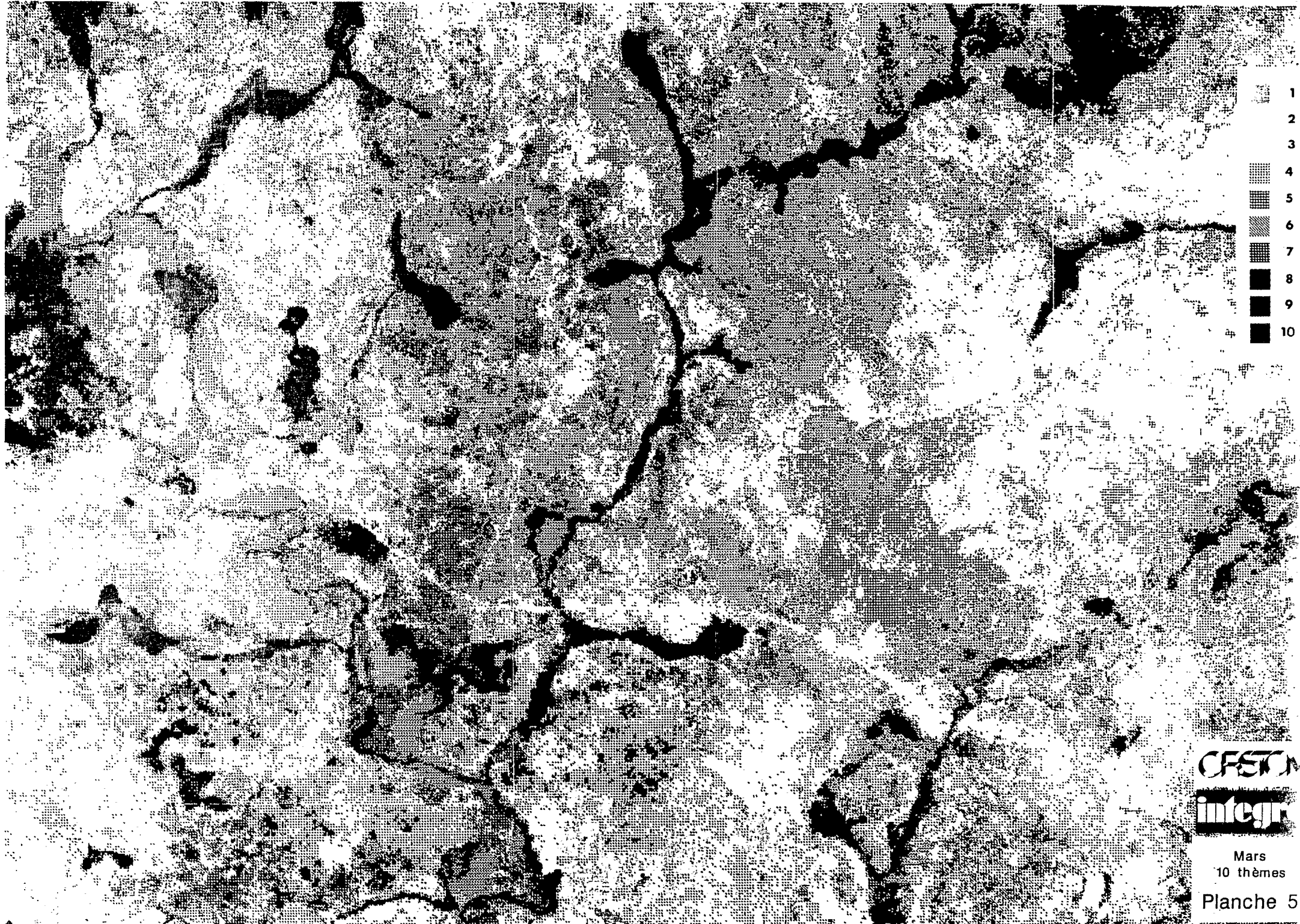


- 1
- 2
- 3
- 4

CFCO
integr

Décembre
4 thèmes

Planche

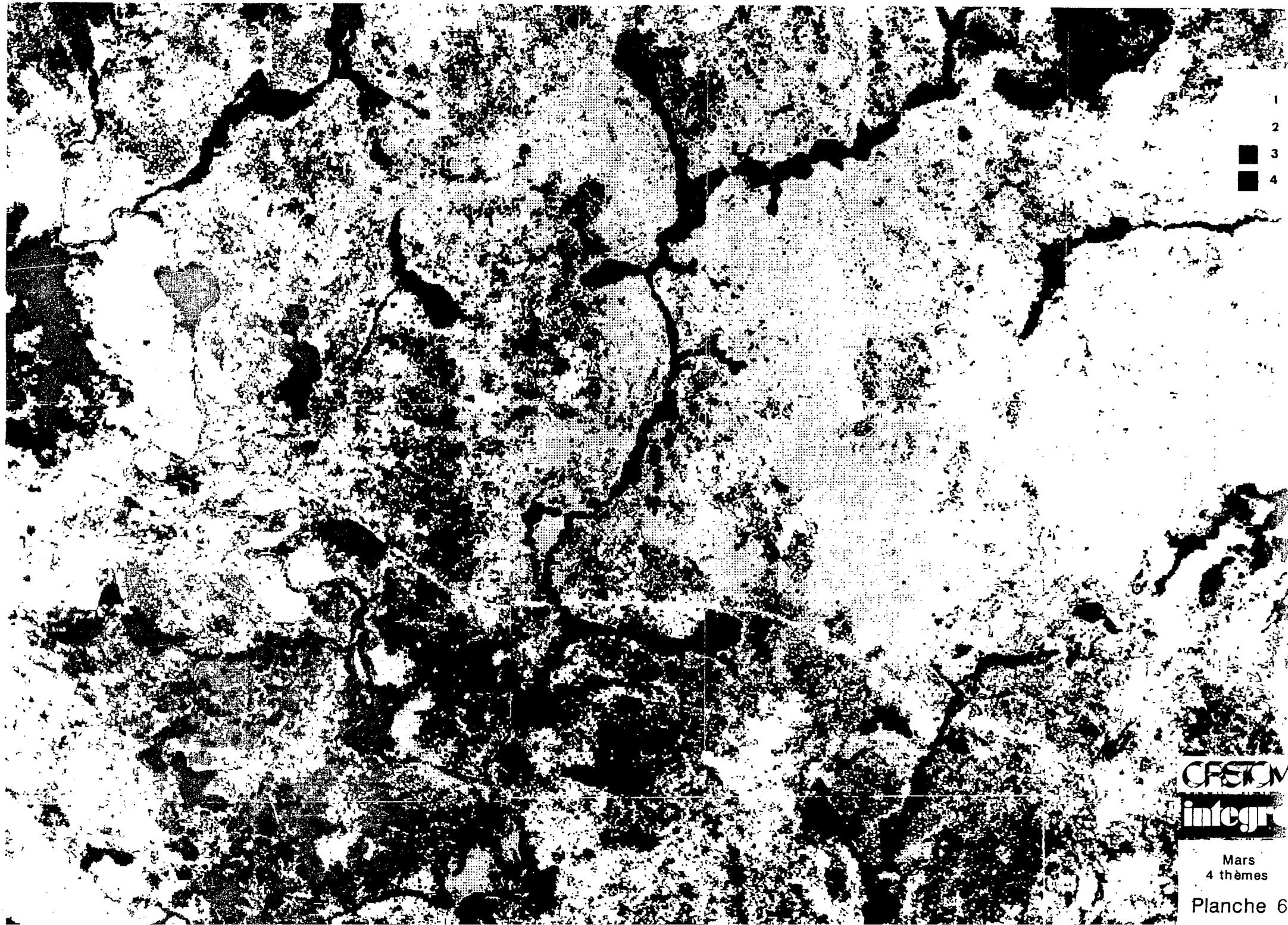


- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10

CFSTO
intégr

Mars
10 thèmes

Planche 5

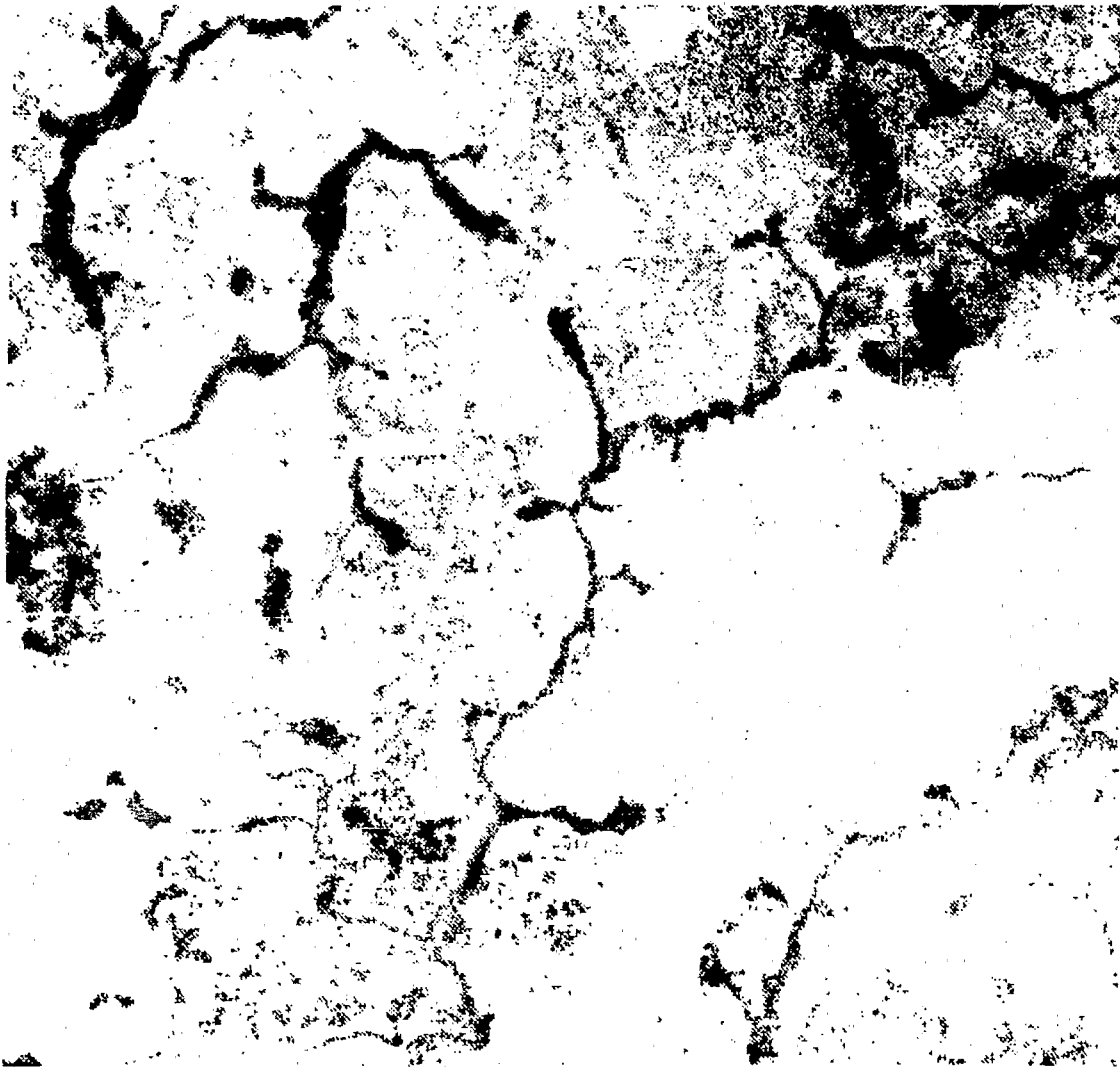
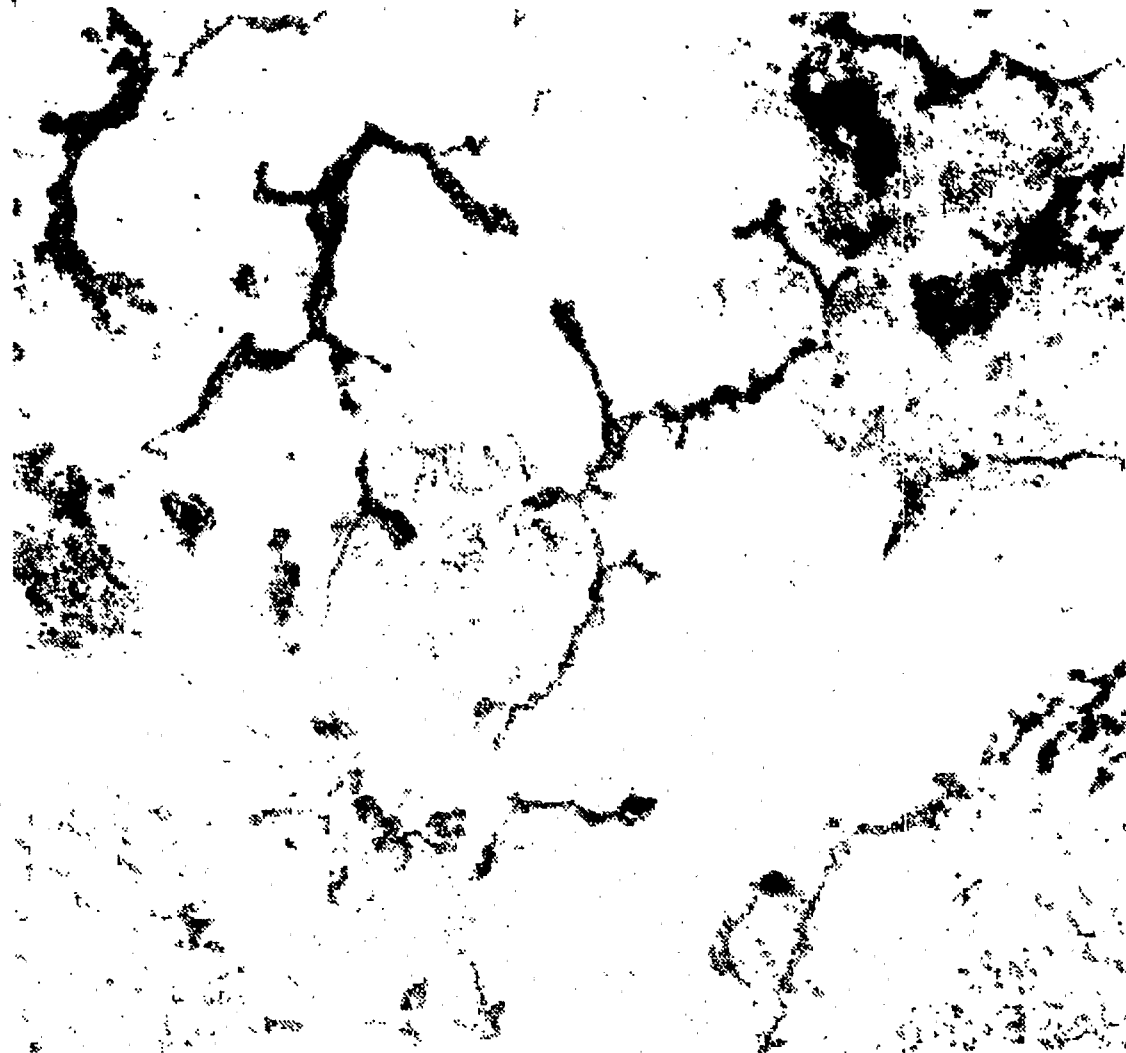


- 1
- 2
- 3
- 4

CRSTOM
integr

Mars
4 thèmes

Planche 6







- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

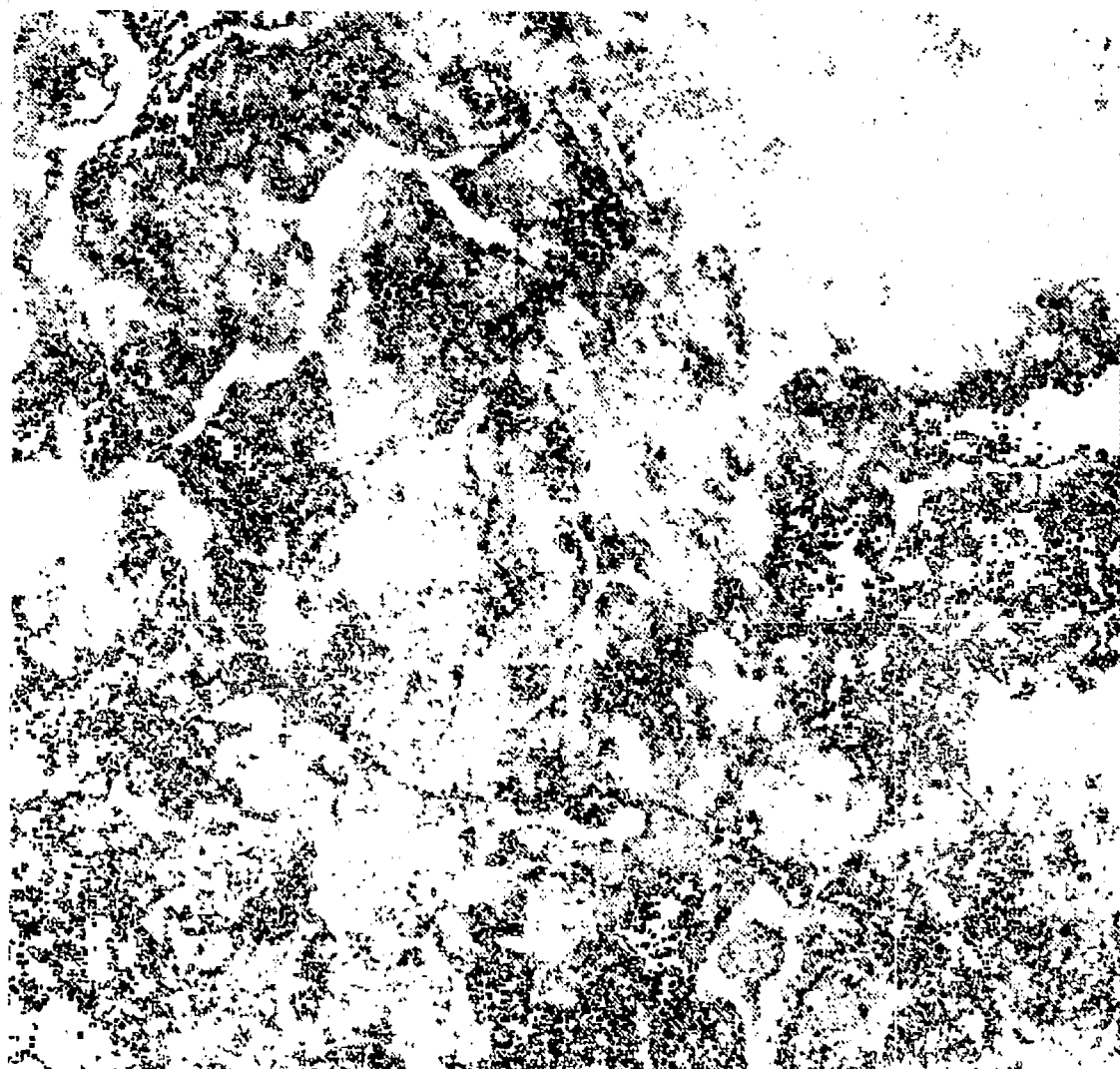
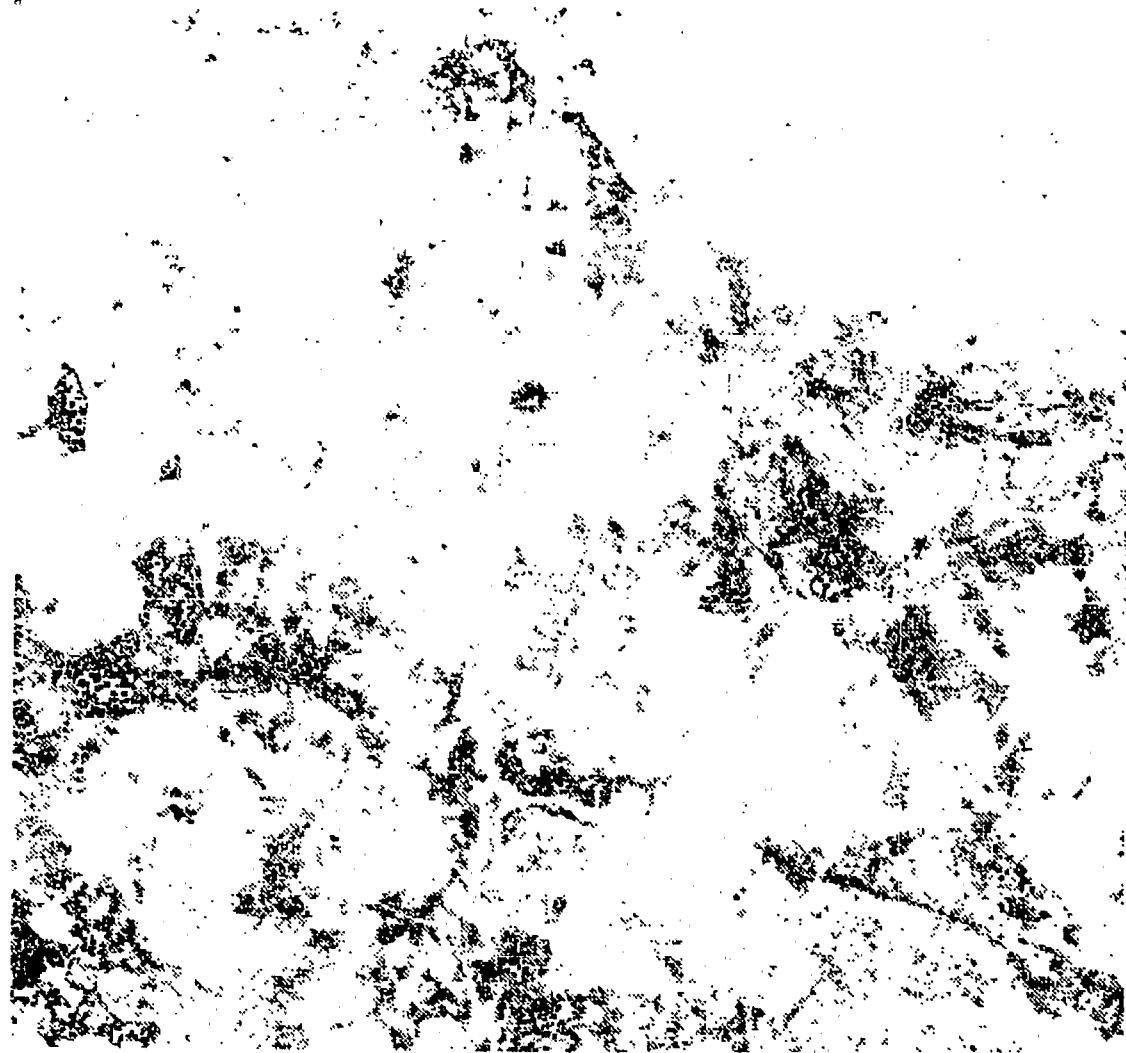
CFSTOM
integro

Forêt

Aout
Mars

Planche 7

- 1 
- 2 
- 3 
- 4 
- 5 

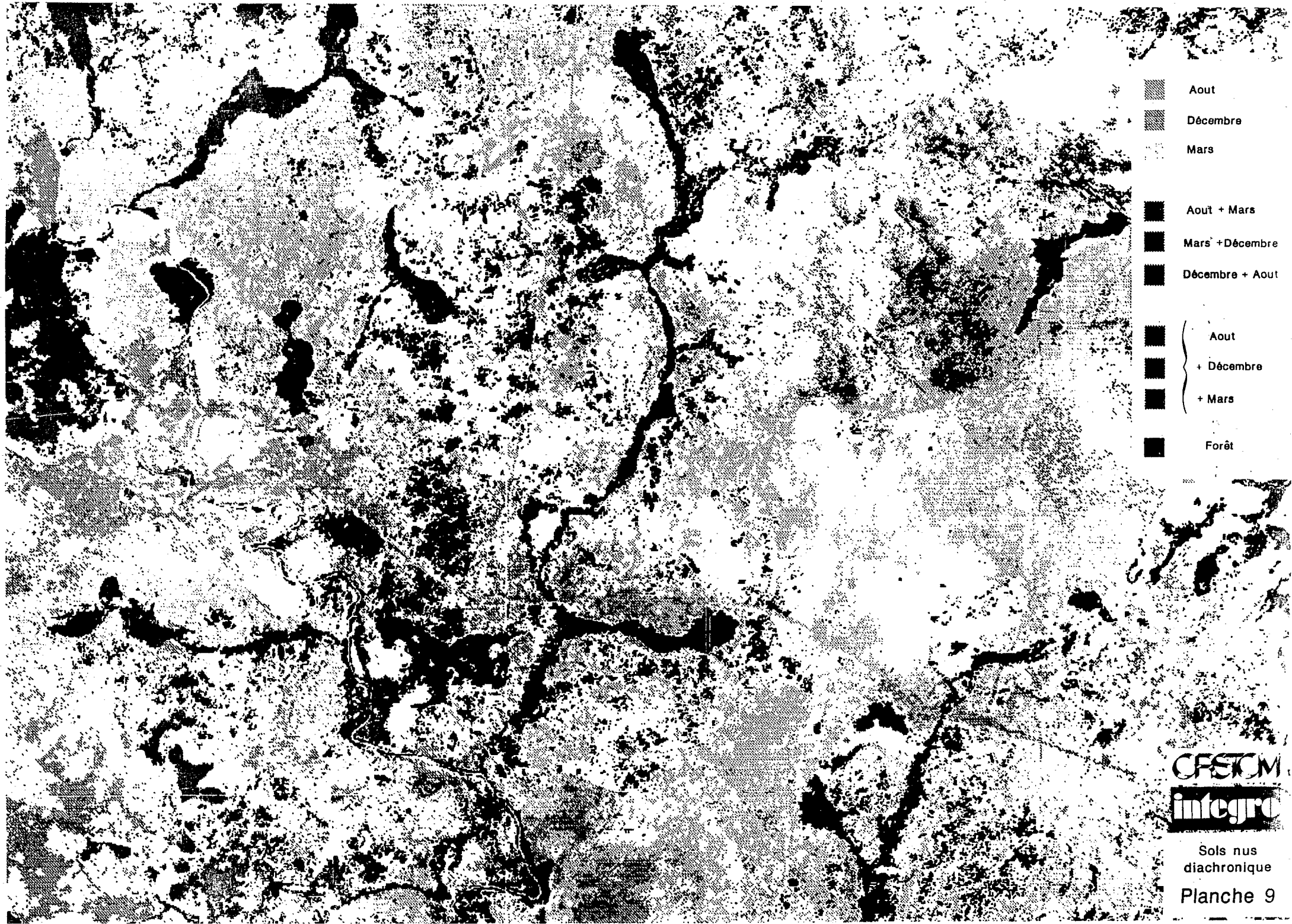












CRSTOM
integro

Sols nus

Décembre
Mars

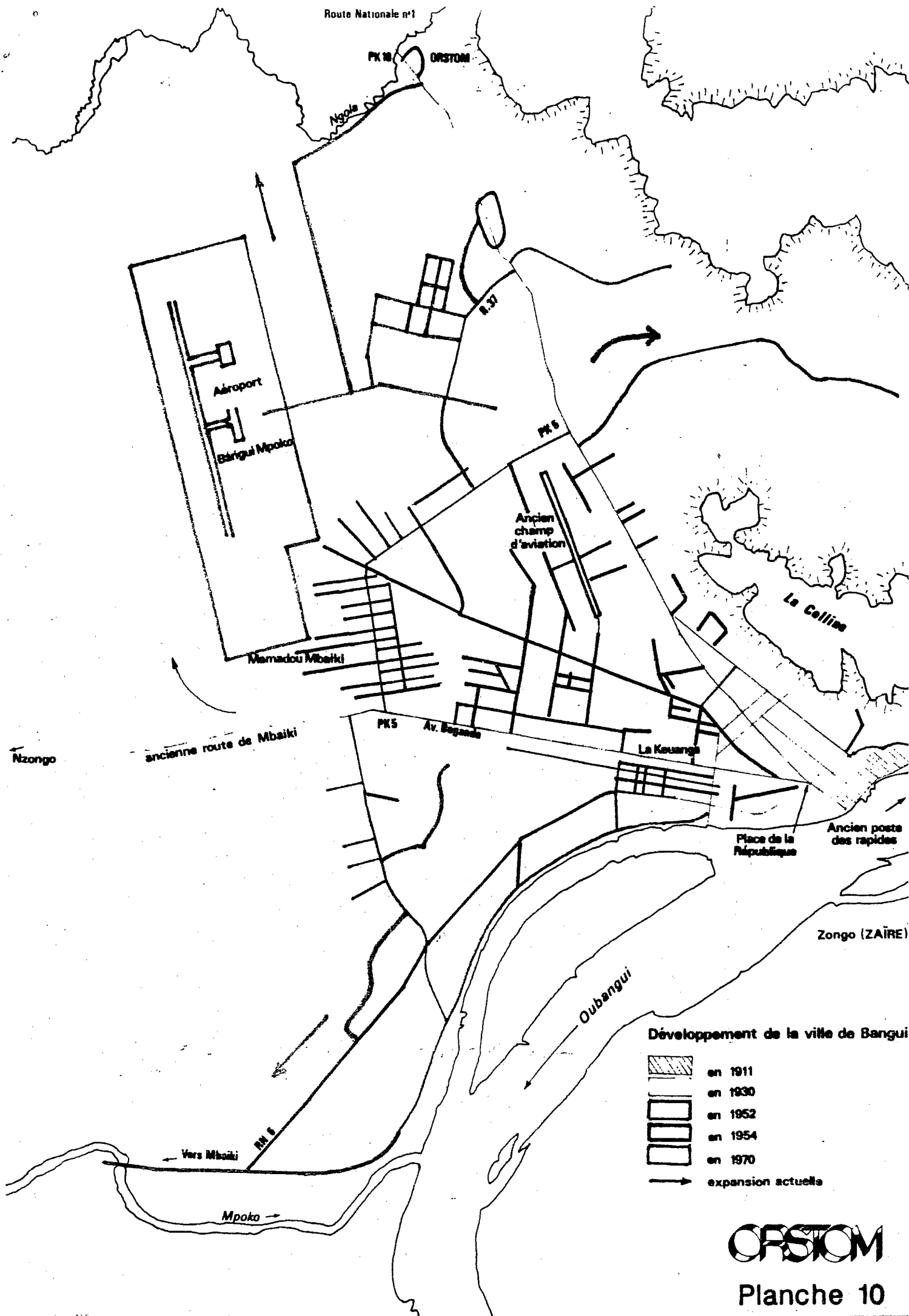
Planche 8



-  Aout
-  Décembre
-  Mars
-  Aout + Mars
-  Mars + Décembre
-  Décembre + Aout
-  { Aout
-  { + Décembre
-  { + Mars
-  Forêt

CFSTOM
integro

Sols nus
diachronique
Planche 9





CRSICM

Planche 11

...Carte
pédologique



CFSTOM

Planche 12
Carte de végétation

